

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 04-117572

(43)Date of publication of application : 17.04.1992

(51)Int.Cl.

G06F 15/60
G06F 15/72

(21)Application number : 02-237991

(71)Applicant : RICOH CO LTD

(22)Date of filing : 07.09.1990

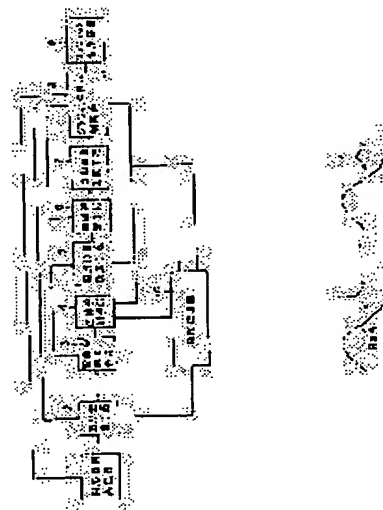
(72)Inventor : CHIYOU KOUDEN

(54) THREE-DIMENSIONAL SOLID FORM GENERATING DEVICE

(57)Abstract:

PURPOSE: To generate a sweep solid intended by a user also to a curve of which the change of curvature is acute by executing the generation of the solid without the offset curve of a free curve when the solid is generated by making a sectional from on a plane along an orbit to include a free curve sweep.

CONSTITUTION: When a point of inflection exists on a orbit, the orbit is transmitted to a curve dividing means 4, is divided by the point of inflection, after the segment of the orbit is increased, the orbit is transmitted to a vertex position determining means 5 and is transmitted to a graphic storage part 10 after it is redisplayed on a graphic display device 9 and original orbit data are updated. Besides, a swept position is determined based on the orbit transmitted by the vertex position determining means 5 and the sectional data read from the graphic storage part. Then, determined positional data are interpolated by a curve interpolating means 6, are displayed on the graphic display device 9 and are transmitted to a free curved surface generating means 7. Thus, even when the change of the curvature of the orbit is acute, a more precise sweep solid can be generated.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A) 平4-117572

⑬ Int. Cl.⁵

G 06 F 15/60
15/72

識別記号

4 0 0 D
4 5 0 A

庁内整理番号

7922-5L
9192-5L

⑭ 公開 平成4年(1992)4月17日

審査請求 未請求 請求項の数 3 (全8頁)

⑮ 発明の名称 3次元立体形状生成装置

⑯ 特 願 平2-237991

⑰ 出 願 平2(1990)9月7日

⑱ 発 明 者 丁 鴻 田 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内

⑲ 出 願 人 株式会社リコー 東京都大田区中馬込1丁目3番6号

⑳ 代 理 人 弁理士 高野 明 近 外1名

明 細 書

1. 発明の名称

3次元立体形状生成装置

2. 特許請求の範囲

1. 自由曲線で構成された軌道にそって、断面形状を移動または回転させてスイープ立体を生成する3次元立体形状生成装置において、複数の自由曲線で構成される軌道及びスイープしようとする断面形状を空間上に配置する配置手段と、軌道を構成する自由曲線の変曲点を検出する変曲点検出手段と、前記変曲点検出手段により検出された変曲点で曲線を分割して軌道のセグメントを増す曲線分割手段と、前記曲線分割手段によって求めた各軌道のセグメントごとに始点、終点および複数個の参照点に関する断面の各頂点のスイープした位置を決定する頂点位置決定手段と、前記頂点位置決定手段で決定された各頂点を曲線補間する曲線補間手段と、前記曲線補間手段によって得られた補間曲線及び始断面、終断面とで囲まれる面を内挿する自由曲面を生成する自由曲面生成手段

とを備えたことを特徴とする3次元立体形状生成装置。

2. 前記曲線補間手段は最小2乗法としたことを特徴とする請求項1記載の3次元立体形状生成装置。

3. 前記曲線補間手段は補間した曲線を再パラメータ化して微調整するようにしたことを特徴とする請求項1又は2記載の3次元立体形状生成装置。

3. 発明の詳細な説明

技術分野

本発明は、3次元立体形状生成装置に関し、より詳細には、同一断面形状を持った3次元立体形状生成装置に関する。

従来技術

本発明に係る従来技術を記載した公知文献としては、例えば、「A Control-Point-Based Sweeping Technique」(Sabine Coquillart, IEEE CG&A Vol.7, No.11, November, 1987, pp36-45.)がある。これによれば、軌道を構成する曲線の制

御点のオフセットよりその曲線のオフセット曲線を求め、オフセット曲線の制御点を平行移動または回転することによりスイープした軌跡を求め、スイープ立体形状を作成していた。

従来、例えば、スイープ立体の形状は軌道を構成する曲線のオフセット曲線の集合から形成していたので、オフセット曲線を正確に引けるかどうか依存していた。しかし、曲率の変化が激しい軌道に対して、求めたオフセット曲線は多くの誤差を含んでおり、ユーザーの意図したスイープ立体を生成するのは困難であった。例えば、化学プラントなどの複雑な配管などにおいて湾曲の激しいものを表現することができなかった。

また、軌道を構成する曲線のオフセット曲線に依存していたため、スイープされる断面の法線ベクトルが軌道の接線ベクトルと平行であるようなスイープ立体しか生成できなかった。しかし、スイープされる断面の法線ベクトルが軌道の接線ベクトルの方向の平行でない場合のスイープもかなり要求されている。

道のセグメントごとに始点、終点および複数の参照点に関する断面の各頂点のスイープした位置を決定する頂点位置決定手段と、前記頂点位置決定手段で決定された各頂点を曲線補間する曲線補間手段と、前記曲線補間手段によって得られた補間曲線及び始断面、終断面とで囲まれる面を内挿する自由曲面を生成する自由曲面生成手段とを備えたこと、更には、(2) 前記曲線補間手段は最小2乗法としたこと、(3) 前記曲線補間手段は補間した曲線を再パラメータ化して微調整するようにしたことを特徴としたものである。以下、本発明の実施例に基づいて説明する。

第1図は、本発明による3次元立体形状生成装置の一実施例を説明するための構成図で、図中、1は図形要素発生部、2は図形配置手段、3は変曲点検出手段、4は曲線分割手段、5は頂点位置決定手段、6は曲線補間手段、7は自由曲面生成手段、8はグラフィック表示制御部、9はグラフィック表示装置、10は図形記憶部である。

本発明でいうスイープ立体とは第2図に示すよ

目 的

本発明は、上述のごとき実情に鑑みてなされたもので、軌道の曲率の変化が激しい場合でもより正確なスイープ立体を生成すること、及び軌道の接線ベクトルとスイープされる断面の法線ベクトルが平行でない場合でもより正確なスイープ立体を生成できるようにした3次元立体形状生成装置を提供することを目的としてなされたものである。

構 成

本発明は、上記目的を達成するために、(1) 自由曲線で構成された軌道にそって、断面形状を移動または回転させてスイープ立体を生成する3次元立体形状生成装置において、複数の自由曲線で構成される軌道及びスイープしようとする断面形状を空間上に配置する配置手段と、軌道を構成する自由曲線の変曲点を検出する変曲点検出手段と、前記変曲点検出手段により検出された変曲点で曲線を分割して軌道のセグメントを増す曲線分割手段と、前記曲線分割手段によって求めた各軌

うな平面上の断面形状を3次元軌道にそって軌道の接線方向と一定の角度をもって移動させることによって生成した立体である。断面形状は頂点と接線(直線、円弧または自由曲線)より構成されるものである。軌道は、1次微分まで連続な1つ以上の自由曲線(例えば、3次のBezier曲線)により構成されるものである。以下、各自由曲線をセグメントと呼ぶ。

まず、3次元CADシステムなどの図形要素発生器1より断面形状及び軌道を生成する。そして生成した断面形状及び軌道はグラフィック表示制御部8に入力され、例えばCRTでなるグラフィック表示装置9の画面上に表示されると共に、図形配置手段2に伝送される。図形配置手段2により断面と軌道を空間上に所望の位置に配置される。配置された断面と軌道がグラフィック表示装置9に第2図のように表示された後、図形記憶部10に記憶されると共に、軌道が変曲点検出手段3に伝送される。変曲点検出手段3により、軌道上に変曲点が存在すれば、軌道が曲線分割手段4に伝

送される。軌道上に変曲点が存在しなければ、軌道が頂点位置決定手段5に伝送される。曲線分割手段4より変曲点で曲線を分割して軌道のセグメントを増やした後、軌道がグラフィック表示装置9に第3図(a)、(b)のように再表示される。後、頂点位置決定手段5に伝送されると共に図形記憶部10に伝送され、元の軌道データを更新する。頂点位置決定手段5において、伝送されてきた軌道と図形記憶部から読み込んだ断面のデータに基づいてスイープした位置を決める。頂点位置決定手段5より決められた位置データが曲線補間手段6に伝送される。曲線補間手段6より補間された曲線が、グラフィック表示装置9に第4図のように表示されると共に自由曲面生成手段7に伝送される。自由曲面生成手段7により生成された曲面がグラフィック表示装置9に表示されると共に図形記憶部10に伝送される。

以下に各手段について説明する。

図形配置手段2は、3次元CADシステムなどより生成された複数の自由曲線で構成される軌道

トルを計算し、1つの座標系を構成する。

step 3; 座標系の相対関係より断面の各頂点のスイープした位置を計算する。

すなわち、曲線分割手段で得られた軌道の各セグメントに対して、セグメントの始点、終点以外に k (k は $2 \times$ 自由曲線の次数以上とする)個の点(以下、参照点と呼ぶ)をセグメント上の i 番目の点 q_i のパラメータ値 t_i を $i/(k+1)$ とするように決定する。ここで、 $i=1 \dots k$ である。始点(q_s)、終点(q_e)およびセグメント上の点(参照点、 q_i)のそれぞれにおいて、曲線の接線ベクトル(T)、曲率ベクトル(N)を計算し、接線ベクトル(T)と曲率ベクトル(N)の外積から従法線ベクトル(B)を計算し、この3つのベクトルによって1つの座標系を構成する。この様子を第6図に示す。ただし、曲率ベクトル(N)が0ベクトルである場合には、その曲線が平面曲線であれば、従法線ベクトル(B)をその曲線が属する平面の法線ベクトルとする。また、その曲線が平面曲線でなければ、その点と近傍の2

及びスイープしようとする断面形状を移動または回転などの図形配置手段を用いて空間上に所望の位置に配置する。

変曲点検出手段3は、前記図形配置手段を用いて配置された軌道を構成する各自由曲線(つまり、軌道のセグメント)に対して変曲点が存在するかどうかを調べる。

曲線分割手段4は、前記変曲点検出手段3により、もし変曲点が存在すれば、その位置で曲線を分割して軌道のセグメントを増す。第3図は変曲点を含む軌道の例である。軌道は変曲点において分割される。

頂点位置決定手段5は以下のような処理を行う。第5図はこの頂点位置決定手段を説明するためのフローチャートである。以下、各ステップに従って順に説明する。

step 1; セグメント上に始点、終点以外に k 個の参照点を選ぶ。

step 2; セグメントの始点、終点及び参照点のそれぞれにおける接線ベクトル及び従法線ベク

トルの制御点により構成される平面の法線ベクトルとする。曲率ベクトル(N)は従法線ベクトル(B)と接線ベクトル(T)との外積より計算し、それらの3つのベクトルから座標系を構成する。第7図に示すように、始点(q_s)での座標系における断面上の頂点の位置(P_s)の座標値と、上で求めたセグメント上の点(q_i)及び終点(q_e)での各座標系における座標値が一致するように、スイープした断面の頂点位置(P_i , $i=1 \dots k$, P_e)を決める。つまり、スイープした断面の頂点位置は座標系の平行移動と回転より計算される。なお、終点での断面を構成する曲線の位置もこれと同じ方法で計算される。

曲線補間手段6は以下のような処理を行なう。第8図は、この曲線補間手段を説明するためのフローチャートである。以下、各ステップに従って順に説明する。

step 1; セグメントの始点、終点における接線ベクトルを用いての最小2乗法によりスイープした位置に曲線補間を行う。

step 2; 許容誤差より大きいかどうか判断する。

step 3; 許容誤差より大きい場合は、参照点でのパラメーター値を調整する。

すなわち、第7図に示すように、断面の各頂点に対して、最初の位置及び頂点位置決定手段で求めたスイープした位置 ($P_s, P_1, \dots, P_i, \dots, P_k, P_e$) の間を1本の3次ベジエ (Bezier) 曲線で補間する。ただし、軌道のセグメントとセグメントの接点での断面を構成する曲線における両側の曲線を滑らかに接続させるために、その接点での断面上の各頂点における両側の補間曲線の接線ベクトルが平行であるような曲線補間を行う。その方法としては、最初の位置、頂点位置決定手段で求めたスイープした位置およびセグメントの始点、終点の接線ベクトル (T_s と T_e) を用いて以下のようにして最小2乗法より曲線補間を行う。

$$Y(t) = \sum_{j=0}^3 Q_j B_j^3(t) \quad (1)$$

本発明では式(4)の d が最小であるような曲線を選ぶ。最小2乗法より、 d が最小になるためには、以下の条件を満たせばよい。

$$\frac{\partial d}{\partial a} = 0$$

$$\frac{\partial d}{\partial b} = 0$$

これによって、 a と b の二つの線形方程式が得られるので、 a と b を解き、 a と b を式(2)と式(3)に代入して、 Q_1 と Q_2 を求め、式(1)で表される補間曲線 $Y(t)$ が第7図のように得られる。

このように得られた補間曲線の精度を上げるため、補間曲線の微調整を行う。得られた補間曲線 $Y(t)$ はパラメーター化のしかた (つまり、参照点の選び方) に依存している。スイープした点 P_i とこの補間曲線 $Y(t)$ との新しい関係を

$$P_i = Y(t_i) + \tilde{e}_i$$

とすれば、一般に第9図に示すように、誤差ベクトル \tilde{e}_i は $Y(t)$ に垂直ではないから、スイープした点 P_i と上で得た補間曲線との最短距離の総和が最小ではない。そこで、誤差ベクトルが

とする。ここで、 Q_j はBezier曲線の制御点であって、 $B_j^3(t)$ はBernstein基底関数である。始点 ($Q_0 = P_s$) と終点 ($Q_3 = P_e$) は既知であり、 Q_1 と Q_2 との関係は

$$Q_1 = Q_0 + a T_s \quad (2)$$

$$Q_2 = Q_3 + b T_e \quad (3)$$

である。ここで、 a と b は実数である。このように補間された曲線 $Y(t)$ とのセグメント上の点 P_i との関係は

$$P_i = \sum_{j=0}^3 Q_j B_j^3(t_i) + e_i$$

である。ここで、 e_i は誤差ベクトルである。誤差の総和を次の式で表す。

$$d = \sum_{i=1}^k e_i^2$$

ここで、

$$D_i = P_i - Q_0 B_0^3(t_i) - Q_1 B_1^3(t_i) - Q_2 B_2^3(t_i) - Q_3 B_3^3(t_i)$$

とすると、 d は次のようになる。

$$d = \sum_{i=1}^k (D_i - a T_s B_1^3(t_i) - b T_e B_2^3(t_i))^2 \quad (4)$$

る誤差範囲以内で補間曲線に垂直になるように、各参照点のパラメーター値を調整する。方法としては、第10図に示すように、 t_i を次の式より調整して新しいパラメーター \tilde{t}_i を求める。

$$\tilde{t}_i = t_i + \frac{1}{2} \Delta c_i \frac{1}{u}$$

ここで、 Δc_i は \tilde{e}_i と $Y(t_i)$ における単位接線ベクトルとの内積であって、 u は $P_s, P_1, \dots, P_i, \dots, P_k, P_e$ により構成されているポリゴンの長さである。

このように求めた \tilde{t}_i を用いて上で述べた最小2乗法で新たに補間曲線を求める。ある誤差の範囲内で \tilde{e}_i が $Y(t)$ に垂直であるまでこの調整の手続を繰り返すことによって最適な補間曲線を求める。なお、この微調整の手法は、例えば既存技術である「Intrinsic parametrization for approximation」(Josef Hoschek, CAGD, Vol. 5, No. 1, June, 1988, pp.27-31.) を利用することができる。

自由曲面生成手段7は、曲線補間手段により断面上の各頂点に対して、スイープした軌跡を表す

曲線が得られ、また、頂点位置決定手段によりセグメントの終点での断面の形状が得られた。次にスイープした軌跡を表す曲線及びセグメントの始点と終点それぞれの断面を構成する曲線によって囲まれる面を、例えば脱存技術である「Solid Modelling with DESIGNBASE - Theory and Implementation」(Hiroaki Chiyokura, Addison-Wesley, 1988.) によって、第4図に示すようにGregory Patchで内挿する。

以上の頂点位置決定手段、曲線補間手段、及び自由曲面生成手段より、第4図に示すように1本のセグメントに対してスイープ曲面を生成することができる。そして、これらの手段を軌道のすべてのセグメントに適用することにより、第11図に示すように軌道にそったスイープ立体を生成することができる。

第12図(a)、(b)と第13図(a)、(b)は、以上の手法にてスイープ立体を生成した例である。またスイープされる断面の法線ベクトルが軌道の接線ベクトルの方向に平行でないようなス

スイープ立体を生成する場合には、図形配置手段により断面形状と軌道を配置するとき、断面の法線ベクトルと軌道の始点の接線方向との角度を90度以外の角度にして、変曲点検出手段、曲線分割手段、頂点位置決定手段、曲線補間手段、及び自由曲面生成手段により、第14図(a)、(b)に示すようなスイープ立体を生成できる。

軌道を構成する自由曲線(軌道のセグメント)の次数が高次である場合、または変曲点の検出が困難である場合(例えば、高次の有理Bezier曲線)には、セグメントの参照点の数を増やしたり、セグメントごとにスイープした軌跡を表す曲線の本数を誤差の評価より増やしたりすることによって対応できる。

また、頂点位置決定手段における参照点は、曲率の変化が激しい部分に対して、参照点間におけるパラメーターの間隔を小さくする等して、曲線の曲率の変化具合により選ぶ方を変えることによって、曲率の変化が激しい部分にもより正確なスイープ立体を生成できる。

第15図～第18図は、スイープ立体を生成した他の例を示す。

効果

以上の説明から明らかなように、本発明によると、以下のような効果がある。

(1) 請求項1に記載された発明によると、自由曲線を含む軌道にそって、平面上の断面形状をスイープさせて立体を生成する場合、その自由曲線のオフセット曲線を利用しないため、生成したスイープ立体の形状がそのオフセット曲線を求めるとき生ずる誤差に影響されない。したがって、曲率の変化が激しい曲線に対しても、ユーザーの意図したスイープ立体を第12図に示すように生成することができる。また、スイープされる断面の法線ベクトルが軌道の接線ベクトルの方向に平行でない場合(つまり、斜めなとき)にも対応できる。

(2) 請求項2に記載された発明によると、軌道のセグメントとセグメントとの接点での断面を構成する曲線における両側の曲面を滑らかに接続さ

せるようにスイープ立体を生成できる。また、請求項2と請求項3に記載された発明によると、より正確なスイープ立体を生成できる。

(3) 本発明を3次元CADシステムなどに実現することによって、パイプ、コップの取手、断面形状が同じであるような機械部品、イメージ処理における複雑なスイープ立体の生成などの形状を設計することが容易にできる。

4. 図面の簡単な説明

第1図は、本発明による3次元立体形状生成装置の一実施例を説明するための構成図、第2図は、スイープ立体を説明するための図、第3図は、変曲点で曲線を分割した場合の軌道を表示した図、第4図は、1本のセグメントに対してスイープ曲面を生成する例を示す図、第5図は、頂点位置決定手段を説明するためのフローチャート、第6図は、接線ベクトル、曲率ベクトル、従法線ベクトルによって1つの座標系を構成する様子を示す図、第7図は、補間曲線を示す図、第8図は、曲線補間手段を説明するためのフローチャート、第9図

及び第10図は、補間曲線の微調整を行う場合を説明するための図、第11図は、第3図において、すべてのセグメントに対してスイープ立体を生成する例を示す図、第12図乃至第18図は、スイープ立体を生成する例を示す図である。

1…図形要素発生器、2…図形配置手段、3…変曲点検出手段、4…曲線分割手段、5…頂点位置決定手段、6…曲線補間手段、7…自由曲面生成手段、8…グラフィック表示制御部、9…グラフィック表示装置、10…図形記憶部。

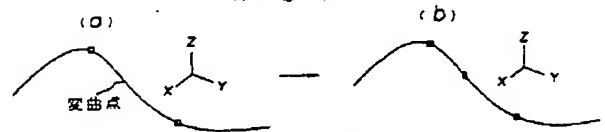
特許出願人 株式会社 リコー
代理人 高野 明 近
(ほか1名)



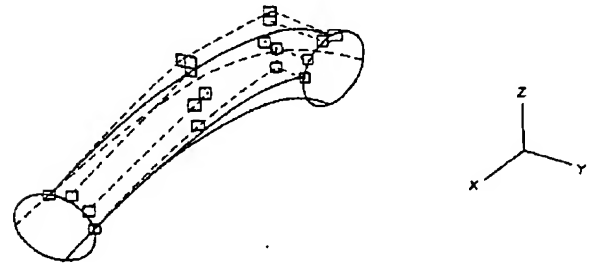
第2図



第3図



第4図



第1図

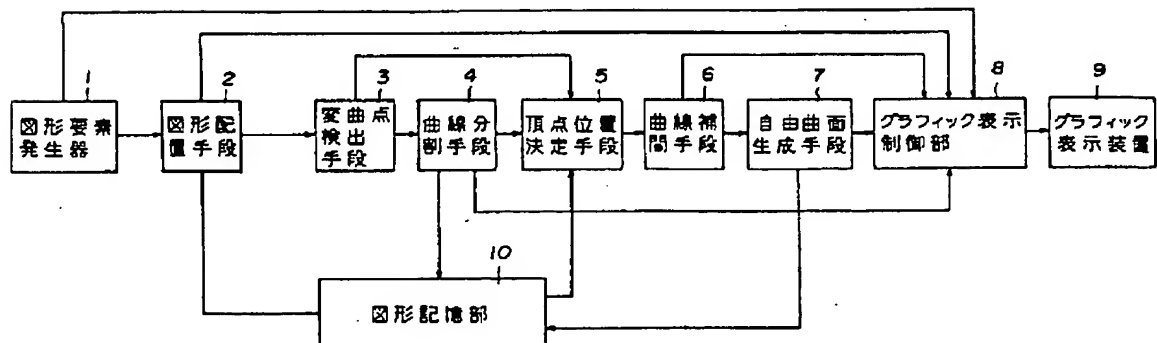


図 5

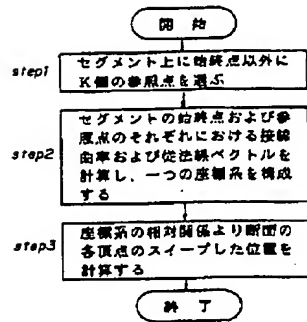


図 8

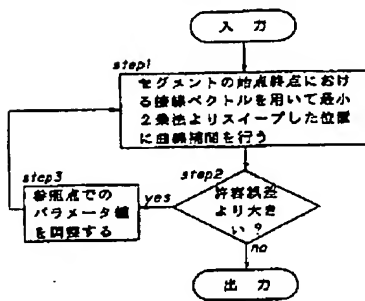


図 10

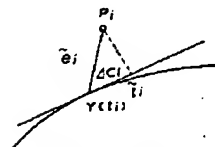


図 11

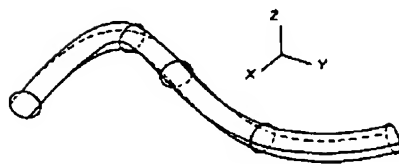


図 12

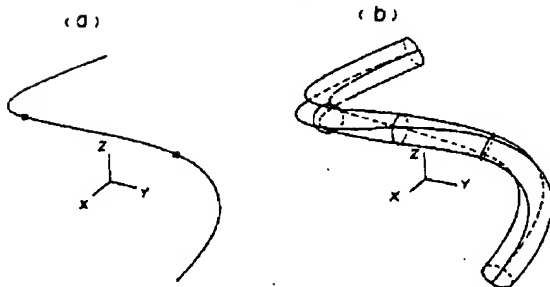


図 6

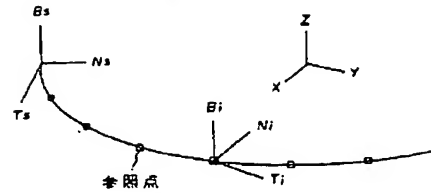


図 7

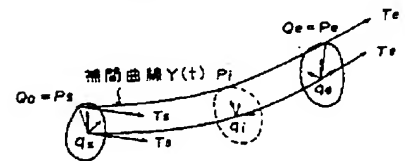


図 9

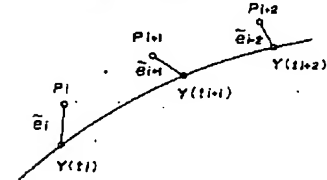
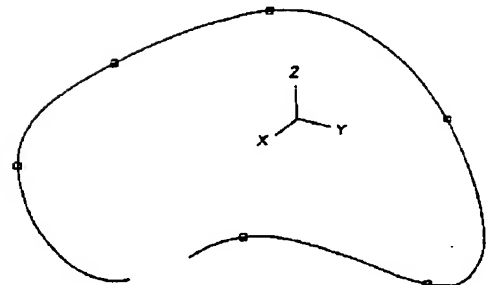
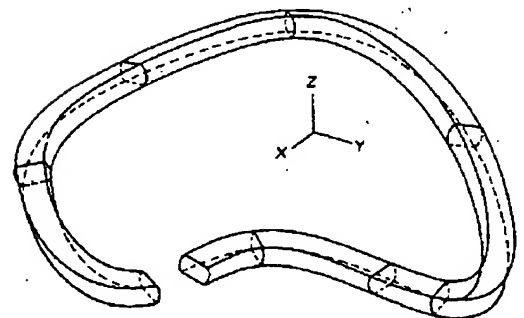


図 13

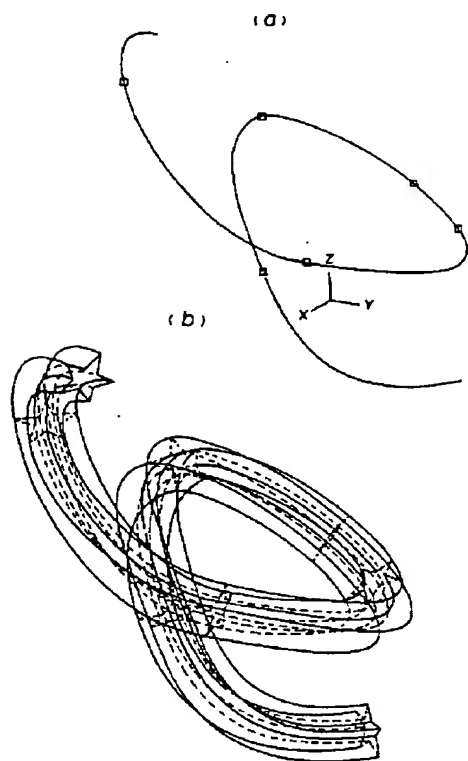
(a)



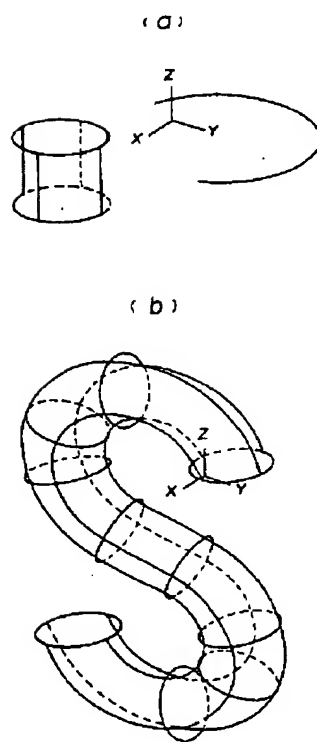
(b)



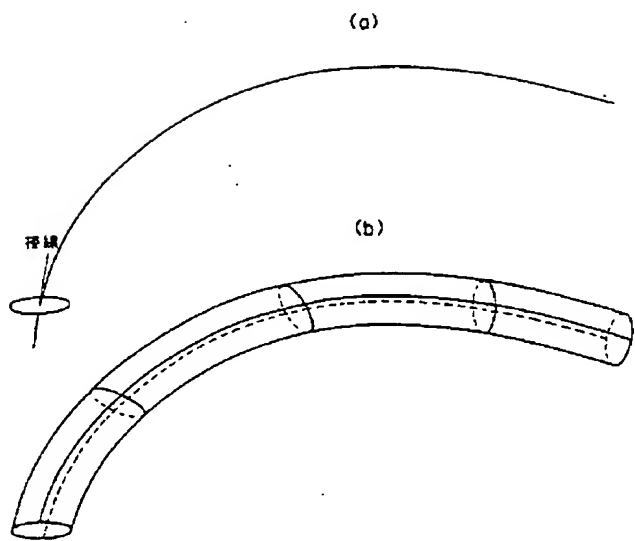
第 15 図



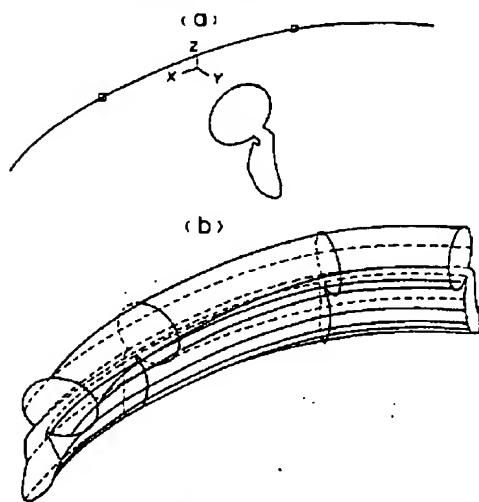
第 18 図



第 14 図



第 16 図



第 17 図

